Niveau(x) d'enseignement : 4
Centre d'intérêt : 842

Numéro EDUQ : 9370410

Weil-Barais, Annick

Approche développementale de l'apprentissage en sciences physiques : domaine considéré, la mécanique / par Annick Weil-Barais ; L.I.R.E.S.T. -- Montréal : Université du Québec à Montréal, Centre interdisciplinaire de recherche sur l'apprentissage et le développement en éducation, 1993. 25 f. ; 29 cm. -- (Séminaire sur la représentation ; 73)

Bibliogr. : f. 23-25.

ISBN 2-921284-97-9

Vedette(s)-secondaire(s) : Université du Québec à Montréal. Centre interdisciplinaire de recherche sur l'apprentissage et le développement en éducation • L.I.R.E.S.T.

Descripteur(s) : Sciences physiques • Théorie de l'apprentissage • Modèle • Epistémologie • Secondaire (Ordre d'enseignement)

Identificateur(s) de sujet : Approche développementale • Constructivisme • Mécanique • Représentation

Cette étude porte sur les modalités d'accès aux modèles physiques. L'apprentissage dont il est question est l'apprentissage de modèles. Cet apprentissage s'effectue selon quatre registres : 1) la constitution du champ expérimental ou structuration et catégorisation de problèmes; 2) l'appropriation de formes symboliques de représentation; 3) la formation de concepts; 4) l'élaboration des opérations mentales afférentes à la construction et à l'utilisation de modèles. Le domaine exploré est celui de la mécanique. Il s'agit d'un domaine (celui de la physique) où l'apprentissage doit être envisagé en terme de changement conceptuel, selon de nombreux auteurs. L'étude présente d'abord certains points de vue rencontrés sur le changement conceptuel puis expose le point de vue développemental constructiviste de l'apprentissage qui est celui adopté. Elle fait état des conséquences de cette option sur l'organisation et la gestion de l'enseignement.

Type de document :

9370418

CENTRE INTERDISCIPLINAIRE DE RECHERCHE SUR
L'APPRENTISSAGE ET LE DEVELOPPEMENT EN EDUCATION

CIRADE

Université du Québec à Montréal

9370410

Approche développementale de l'apprentissage en sciences physiques
(domaine considéré: la mécanique)

par Annick Weil-Barais

L.I.R.E.S.T.
Laboratoire Interuniversitaire de Recherche sur l'Éducation Scientifique et Technologique

Séminaire sur la Représentation

24 avril 1992 - no 73

CIRADE, UQAM, janvier 1993

ISBN 2-921284-97-9
Dépôt légal - Bibliothèque nationale du Québec, 1993.

Avertissement:

Ce texte reprend pour partie des idées exprimées dans trois publications en cours:

Lemeignan, G , Weil-Barais (à paraître). Developmental approach to cognitive change in mechanics. *International Journal of Science Education.*

Lemeignan, G , Weil-Barais (en préparation). *Enseigner et apprendre la mécanique.*

Weil-Barais, A. (en préparation). Les apprentissages en sciences physiques. In G. Vergnaud (Ed): *Bilan des recherches sur l'apprentissage.*

Préambule:

L'approche de l'apprentissage que je présente a été mise au point à l'occasion d'un ensemble de travaux de recherches conduits au LIREST sur le thème «Enseignement et apprentissage de la modélisation». Il s'agit d'un programme de recherches ayant débuté il y a cinq années. Ce programme a fait l'objet d'un contrat avec le Ministère de la Recherche et de l'Éducation Nationale et d'une Action Thématique Programmée réunissant des membres du laboratoire et des membres de l'Équipe Sciences Expérimentales de l'Institut National de la Recherche Pédagogique (INRP). Ce programme de recherches a comme enjeu de déboucher à la fois sur des propositions de type curriculaire (spécification de contenus d'enseignements, de tâches et de stratégies pédagogiques) et sur une meilleure compréhension des processus intellectuels en jeu dans la construction et l'utilisation des modèles physiques par les élèves (les rapports techniques sont signalés à la fin). Je n'aborderai ici qu'un volet de ces recherches abordé de manière centrale dans les travaux que j'ai conduits en collaboration avec Gérard Lemeignan, (physicien à l'université Paris 6), à savoir les modalités d'accès aux modèles physiques.

L'apprentissage dont il sera question ici est un apprentissage de modèles.

Afin qu'il n'y ait pas de malentendu sur l'objet d'étude, il est utile de spécifier ce que nous avons considéré comme étant un modèle. Un modèle est une représentation générale (au sens où elle vaut pour tout un ensemble de situations, c'est-à-dire le champ expérimental explorable par le modèle). Un modèle peut être décrit selon plusieurs registres: 1) celui du *champ expérimental* afférent au modèle; 2) celui des *représentations symboliques* utilisées pour exprimer le modèle, le faire fonctionner et communiquer à son propos (c'est-à-dire le plan du signifiant); 3) celui des

représentations mentales (c'est-à-dire le plan du signifié); et enfin 4) celui des *opérations mentales* effectuées par les individus lorsqu'ils construisent et utilisent le modèle (au sens de Vergnaud, il s'agit d'*invariants opératoires*).

En retenant ce cadre descriptif des modèles, nous avons considéré que l'apprentissage des modèles mobilisait nécessairement ces quatre registres: 1) la constitution du champ expérimental, ce que les psychologues cognitivistes ont pris l'habitude de désigner par structuration et catégorisation de problèmes; 2) l'appropriation de formes symboliques de représentation (apprentissage de codes avec la sémantique et la syntaxe qui lui sont associées); 3) la formation de concepts; 4) l'élaboration des opérations mentales afférentes à la construction et à l'utilisation de modèles.

Ce point de vue conduit à considérer les modèles à la fois comme objets et comme outils. L'apprentissage des modèles est donc indissociable de la modélisation, c'est-à-dire de toutes les activités (activités mentales et activités avec et sur les codes) conduisant à l'élaboration de représentations de situations dans le but d'expliquer, de faire des prédictions qualitatives et quantitatives, ou d'agir.

Dans une perspective fonctionnelle, le critère de maîtrise d'un modèle par les élèves est de pouvoir s'en servir pour résoudre des problèmes. Résoudre un problème suppose de concevoir une représentation de la situation dans les termes du modèle; cette représentation permettant d'effectuer les recherches d'informations, les transformations ainsi que les calculs nécessaires pour arriver à la solution.

Le domaine exploré est celui de la mécanique. Il s'agit d'un domaine largement étudié du point de vue des conceptions spontanées des élèves ou des erreurs qu'ils commettent lorsqu'ils résolvent des problèmes. Ces travaux ont conduit à montrer l'importance des différences entre les modes de pensée des élèves et ceux développés par les physiciens. Ces différences sont telles que de nombreux auteurs en sont venus à considérer depuis une dizaine d'années que l'apprentissage en physique devait être envisagé en terme de changement conceptuel.

Après avoir rappelé brièvement les points de vue rencontrés actuellement sur le changement conceptuel, nous exposerons les options que nous avons prises ainsi que les conséquences qu'elles ont sur l'organisation et la gestion de l'enseignement. Quelques exemples puisés dans nos recherches (développés en encart) serviront à illustrer notre approche.

1. Points de vue sur le changement conceptuel

Les études conduites sur les conceptions qu'ont les élèves sur le monde physique (*pre-conceptions, misconceptions, naïve conceptions, conceptual frame*, etc.) ont conduit à concevoir l'apprentissage en terme de changements conceptuels (Carey, 1985; Champagne, Gunstone, Klopfer, 1985; Driver, 1987; Garnison, Bentley, 1989; Hewson, 1981; Osborne, Wittrock, 1983; Posner, Strike, Hewson, Gertzog, 1982; Schuel, 1987; Strike, Posner, 1982, 1985; Weil-Barais, Vergnaud, 1990). Ces études ont en effet montré que non seulement les élèves qui débutent dans un enseignement ont déjà des idées sur les phénomènes et sur les concepts (des mots tels que atome, force, énergie, travail, chaleur, électricité, lumière, rayonnement, onde... sont utilisés dans la vie courante) mais que ces idées et concepts diffèrent de celles des physiciens tels qu'ils les pratiquent dans les modèles. Les conceptions des élèves ont comme caractéristiques générales d'être souvent implicites et non conscientes (ce n'est souvent qu'à l'occasion des investigations conduites par les chercheurs que les élèves sont amenés à les verbaliser et à en prendre conscience), d'avoir un caractère souvent local (au sens où elles ne se rapportent qu'à quelques situations particulières familières aux élèves - par exemple ils diront qu'un objet tombe parce qu'il est lourd, qu'il vole parce qu'il est léger, et changeront d'explication si l'objet évoqué est un avion) et d'être centrées sur les propriétés et les fonctions des objets (par exemple: les objets ont ou exercent une force, ils possèdent de la chaleur, l'électricité sert à chauffer, à alimenter des appareils...). Les modèles physiques ont des caractéristiques bien différentes: ils sont explicites (leur expression s'effectue selon des formes canoniques partagées par la communauté des scientifiques); ils ont comme vocation d'être généraux (bien qu'ils aient un domaine de validité, celui-ci est généralement vaste); ils ont un statut hypothétique et sont donc révisables. Les différences relevées entre les modes de pensée du monde physique développés dans la vie quotidienne (ce que certains auteurs désignent par pensée naturelle) et ceux développés par les sciences physiques expliquent que les élèves aient des difficultés en ce domaine et que l'acquisition de telles connaissances prenne du temps. Cela permet également de comprendre la résistance de certaines «erreurs» relevées abondamment dans la littérature sur le sujet. Ainsi le «raisonnement linéaire causal » décrit dans plusieurs champs de la physique par Viennot (et ses collaborateurs) s'expliquent par le fait que les étudiants continuent à explorer les situations sur un mode causal au lieu d'effectuer une modélisation systémique de celles-ci.

Bien que les chercheurs du domaine s'accordent généralement sur l'idée que les apprentissages en physique nécessitent des changements conceptuels, la manière d'aborder le

processus de changement présente des variations qu'il est important de relever. Ces approches peuvent être caractérisées selon l'usage qui est fait des conceptions premières des élèves. Nous distinguerons ainsi: l'*«éradication»*, la *«confrontation»* et l'*«évolution»*. (Ces trois approches sont à considérer comme des repères pour situer les options prises dans les recherches et non pas comme des types permettant une classification).

- **L'éradication**:

Cette approche part d'un jugement de valeur sur les conceptions des élèves: celles-ci s'écartant des connaissances admises en sciences physiques sont jugées «fausses»; les élèves doivent les abandonner pour en adopter de nouvelles jugées «bonnes». Ce type d'approche va de pair avec la recherche de «bons» contenus de connaissances à enseigner dont la référence est le savoir savant. Une telle approche tend à développer des environnements d'apprentissage dans lequel les élèves sont entraînés à structurer de manière adéquate les connaissances ou à résoudre les problèmes en utilisant les procédures de l'expert. Les aides à l'apprentissage procèdent de diagnostic d'erreurs, d'apports d'informations et d'élucidations des connaissances ainsi que d'explicitation des procédures expertes. (Un tel point de vue se manifeste chez Reif par exemple).

- **La confrontation**:

Cette approche se différencie de la précédente par le fait qu'elle accorde aux connaissances des élèves une certaine validité. Il s'agit de faire prendre conscience aux élèves des limites de validité de leurs conceptions en les confrontant à des situations où celles-ci s'avèrent inefficaces. Les conceptions nouvelles proposées par l'enseignant font l'objet d'une confrontation avec celles des élèves. *In fine*, les différents types de conceptions sont supposés co-habiter «dans la tête des élèves». Ceux-ci sont supposés avoir recours à ces différentes conceptions selon les contextes auxquels ils sont confrontés. (Un tel point de vue se manifeste chez Driver par exemple).

- L'évolution:

Cette dernière approche qui s'inscrit dans une conception développementale de l'apprentissage est fondée sur une critique des approches précédemment évoquées. Ces dernières présupposent en effet que l'élève est capable d'appréhender les modèles scientifiques (présentés généralement sous des formes très élaborées) et de les comparer aux siennes comme le feraient des scientifiques qui confronteraient leurs théories et leurs modèles. Ceci est largement infirmé par les données de travaux à visée évaluative qui montrent que les élèves ont des difficultés à s'approprier les modèles. Si l'on prend en considération le décalage qu'il y a entre les idées des élèves et les modèles physiques, il semble plus raisonnable d'envisager le changement en terme d'évolution discontinue (à cause des ruptures à opérer dans les modes de pensée) intervenant sur une longue durée. Les interventions didactiques visent, dans une telle perspective, à mobiliser chez les élèves les ressources cognitives l'aidant à construire des connaissances nouvelles, et à provoquer de manière graduée l'ensemble des ruptures nécessaires pour accéder à de nouveaux modes de pensée. L'hypothèse sous-jacente à une telle approche est que l'évolution du système cognitif provoque des restructurations internes progressives qui modifient à plus ou moins long terme le mode de fonctionnement du sujet. Dans une telle perspective «l'erreur» est constitutive du processus d'élaboration des connaissances (Un tel point de vue se manifeste chez Di Sessa ainsi que chez Weil-Barais; Lemeignan, Séré; Weil-Barais, Vergnaud).

Les différentes approches que nous avons différenciées sont associées à des modes de gestion pédagogique du processus de changement également différents. Alors que la première approche (l'éradication) conduit à développer des entraînements cognitifs permettant aux élèves de maîtriser les procédures expertes et de saisir l'organisation des connaissances, la seconde approche conduit à développer des techniques visant à faire en sorte que les élèves élucident leurs connaissances personnelles et qu'ils acceptent d'autres connaissances. Partant du présupposé selon lequel l'élève doit être déstabilisé pour accepter d'autres connaissances, les auteurs des recherches tentent de manipuler différentes formes de conflits: des conflits internes ou des conflits sociaux. Les conflits internes sont supposés résulter du non accord entre différentes idées acceptées par le sujet ou de la contradiction entre les anticipations du sujet et les observations qu'il fait; les conflits externes résulteraient de désaccords entre les idées exprimées par des partenaires sociaux (cf les conflits socio-cognitifs).

L'importance des conflits a été mise en avant notamment par Strike et Posner qui ont comparé les changements conceptuels des élèves à des «révolutions scientifiques» (au sens de

Kuhn) ou à des «changements de programme de recherches» (au sens de Lakatos). Ces auteurs ont énoncé un certain nombre de propositions quant aux conditions requises pour déclencher un processus de changement:

- non satisfaction des conceptions disponibles;
- intelligibilité des conceptions nouvelles;
- plausibilité des conceptions nouvelles;
- utilité des conceptions nouvelles.

La reprise de ces propositions par d'autres chercheurs (Hewson en particulier) qui les ont considérées comme étant des étapes d'apprentissage a été critiquée par Strike et Posner (1990). Ceux-ci considèrent que les conceptions des élèves ne peuvent être assimilables à des modèles abandonnés par une communauté scientifique, lorsque leurs valeurs explicatives, prédictives et heuristiques sont remises en cause; par ailleurs, les élèves ne partagent pas nécessairement les mêmes exigences de rationalité que les chercheurs (principe d'économie, de non contradiction, unification...).

Dans la période récente, les conflits socio-cognitifs ont fait l'objet de différentes études dont les résultats ne convergent pas toujours: (Amigues, 1990; Grimellini Tomasini, Gandolfi, Pecori Balandi, 1990; Hewson, 1984; Howe, Rogers, Tolmie, 1990; Nussbaum, Novick, 1982; Stavy, Berkovitz, 1980). Ces travaux tendent à montrer qu'il ne suffit pas toujours que les élèves confrontent leurs points de vue pour que leurs connaissances personnelles évoluent. Les études s'orientent actuellement vers des analyses plus fines des échanges entre élèves et sur la nature des confrontations qui s'avèrent profitables aux partenaires des échanges (Amigues, 1990).

La troisième approche (l'évolution) conduit, d'une part, à donner de l'importance aux situations problématiques qui légitiment la construction de connaissances nouvelles et, d'autre part, à concevoir des questionnements visant à mobiliser les ressources cognitives des élèves et enfin à aménager les étapes et les transitions entre étapes (méthode du *scafolding*).

Outre les différences déjà signalées entre les différentes approches du changement conceptuel qui tiennent à la manière dont les conceptions premières sont conçues (des entraves ou des ressources cognitives) et utilisées (éradication, confrontation, évolution) ainsi qu'au mode de gestion pédagogique du changement, il convient également de signaler la diversité des conceptions des chercheurs sur la nature même des changements conceptuels. Ces conceptions sont très dépendantes des conceptions qu'ils ont de ce que sont les concepts et de la manière dont ils sont supposés être «dans la tête de l'élève». Les modèles de type psycholinguistique sont

largement empruntés par les chercheurs qui travaillent en ce domaine (par exemple, les «réseaux sémantiques», «les scripts», «les schémas»). Or, ces modèles s'avèrent inappropriés si l'on considère que le registre linguistique est insuffisant pour rendre compte des concepts et des modèles physiques. Les concepts et les modèles physiques ne sont pas en effet réductibles aux expressions symboliques qui les expriment, qu'il s'agisse de langage naturel, de symbolismes mathématiques, graphiques ou autres. À côté des invariants cognitifs qui les constituent (ensemble de signifiés et d'invariants opératoires), ils réfèrent à des situations et à des questionnements. Comme il se trouve que les modes d'investigation privilégiés ont recours au langage (questionnaires papier-crayon où les situations sont représentées graphiquement, entretiens ...), le caractère inapproprié des modèles psycho-linguistiques apparaît peu. Il se révèle par contre, lorsqu'il est fait appel à d'autres types d'investigations des connaissances chez les élèves où ceux-ci sont confrontés à des objets matériels: construction de montages expérimentaux, mise au point de montages, prédiction sur l'évolution d'une situation expérimentale, calculs..

2. Vers une approche développementale de l'apprentissage

Le point de vue que nous avons adopté est un point de vue développemental constructiviste. Ce point de vue repose sur un ensemble de présupposés bien connus que nous nous contenterons de rappeler:

- l'élève apprend avec ce qu'il sait déjà;
- l'activité de l'élève est centrale, il construit ses connaissances pour s'adapter à son environnement;
- la construction des connaissances est progressive.

La prise en considération de ces trois présupposés débouche sur un certain nombre d'interrogations:

- quelles sont les ressources cognitives dont disposent les élèves auxquelles ils peuvent avoir recours pour construire de nouveaux modèles?
- comment est-il possible de susciter chez les élèves la mobilisation de celles-ci? (on sait bien en effet que les individus ne mobilisent pas à chaque instant toutes les ressources cogitives dont ils disposent)
- quelles situations problèmes sont susceptibles de déclencher chez les élèves un processus de construction d'un modèle nouveau?

- quelles sont les constructions de modèles possibles chez les élèves étant donné leurs ressources cognitives?

Pour répondre à ces questions il est impératif d'avoir à la fois des connaissances sur les élèves et sur les contenus de connaissances eux mêmes. L'approche psychologique est donc inséparable de l'approche épistémologique. Ainsi à côté des études de conduites d'élèves à partir desquelles nous tentons d'inférer les activités mentales qu'ils mettent en oeuvre, nous procédons également à des études épistémologiques des modèles faisant l'objet d'enseignement. Celles-ci servent à spécifier finement leurs caractéristiques aux plans conceptuels, symboliques et fonctionnels. Nous parvenons ainsi à mieux comprendre pourquoi généralement les élèves parviennent difficilement à maîtriser les modèles dans le contexte habituel de l'enseignement où ceux-ci leur sont présentés d'emblée sous une forme élaborée. Nous tentons alors de concevoir des environnements d'apprentissage susceptibles d'aider les élèves à surmonter les difficultés repérées dans ces études.

Envisager des étapes et des transitions

En référence au concept vygotskien de «zone proximale de développement», il s'agit d'aider les élèves à construire des connaissances nouvelles, en utilisant les registres de fonctionnement où ils ont déjà acquis une certaine autonomie (domaines d'expériences, invariants conceptuels ou opératoires, systèmes symboliques).

Comme il n'est pas toujours possible de faire accéder directement les élèves aux modèles physiques à partir des représentations qu'ils sont capables d'élaborer «spontanément», il nous semble qu'il y a lieu de concevoir pour l'enseignement des modèles intermédiaires, «précurseurs» qui, tout en étant différents des modèles savants, en possèdent certaines caractéristiques (voir encart 1).

Le présupposé dont nous sommes partis est qu'il est possible d'expliciter, de systématiser les «représentations» personnelles (celles qui vont dans le bon sens) et de cerner leur domaine de validité pour en faire des représentations au sens d'une modélisation. Ces modèles peuvent constituer des «*précurseurs*» des modèles scientifiques.

L'idée que nous avons avons avancée est qu'il était sans doute possible de concevoir des suites de modèles, précurseurs des modèles savants enseignés, qui puissent se construire

successivement à partir du premier modèle. L'ensemble de ces modèles constituent des étapes possibles pour accéder aux modèles savants plus élaborés. C'est ce que nous avons fait pour trois modèles que nous avons pu délimiter au sein de la mécanique classique à propos des trois grandeurs fondamentales: quantité de mouvement, énergie, force[1].

Encart 1

Que sont les modèles «précurseurs» ?

Le qualificatif précurseurs associé à modèles signifie qu'il s'agit de modèles qui préparent l'élaboration d'autres modèles. En conséquence, les modèles précurseurs sont des modèles qui comportent un certain nombre d'éléments caractéristiques des modèles savants vers lesquels ils tendent. Ces éléments peuvent concerner des entités hypothétiques, des opérations de pensée associées à la manipulation de ces entités, des représentations symboliques. Les modèles précurseurs ont nécessairement un domaine de validité moindre que les modèles savants. Ils sont cependant calculables au sens où ils permettent de faire des prédictions sur des sens de variation de grandeurs ou sur des changements ou des variations d'effets. Par exemple, le modèle «action sur» proposé pour l'introduction du modèle force permet de faire des prédictions lorsque toutes les actions sont dans la même direction. Il permet de prévoir les mises en mouvement ainsi que le sens des déplacements.

Les modèles précurseurs sont des constructions didactiques conçues pour aider les élèves à accéder aux modèles savants. Ils sont dont «précurseurs» sur le plan du développement cognitif. Ce ne sont pas des précurseurs historiques. L'évolution des modèles scientifiques procède davantage de ruptures que de filiations. Comme au plan cognitif les filiations sont plus aisées à réaliser que les ruptures, il est souhaitable didactiquement d'organiser les filiations. Il convient cependant de relever que, étant donné les décalages entre le mode de fonctionnement de la pensée naturelle et celui de la pensée en mécanique, les ruptures sont incontournables. Chaque modèle précurseur introduit nécessairement des ruptures dans les modes de pensée des élèves. En aidant les élèves à construire une succession de modèles précurseurs, il est possible de ne pas leur imposer des ruptures trop brutales que fort peu d'élèves sont prêts à assumer pour des raisons diverses (non disponibilité de procédures intellectuelles, non maîtrise d'un système symbolique de représentation, surcharge cognitive, manque de confiance en soi ou dans l'enseignant, manque d'intérêt provoqué par le fait que l'élève ne peut appréhender immédiatement l'intérêt du jeu qu'on lui fait mener, etc.)

---

[1] La quantité de mouvement, l'énergie et la force sont des grandeurs physiques. Nous utilisons les expressions "modèle quantité de mouvement", "modèle énergie", etc. parce qu'il est de fait possible de constituer des modèles relatifs à chacune de ces grandeurs (dans les rapports techniques signalés à la fin, ces modèles sont décrits dans le détail). Bien entendu le champ expérimental explorable à l'aide d'une seule grandeur est beaucoup plus restreint que si l'on dispose de l'ensemble; mais il est déjà assez vaste pour que la construction d'un modèle ait du sens. Dans les propositions didactiques auxquelles nous avons abouti, les trois grandeurs fondamentales de la mécanique sont introduites au départ sans faire appel aux autres. Ce n'est que lorsque ces trois grandeurs sont construites que les relations entre elles peuvent être abordées. Ce dernier point n'a pas été abordé dans nos recherches.

Favoriser les articulations

La seconde idée que nous avons avancée a trait à ce que nous avons retenu comme étant constitutif des modèles. Nous postulons que c'est l'articulation des différents registres (signifié, signifiant, expérience) qui conditionne la maîtrise des modèles. Cette articulation ne peut être que progressive, puisqu'en effet chacun des registres envisagés nécessite également des articulations (mise en correspondance d'actions et d'événements avec des classes de phénoménologie, mise en relation d'invariants opératoires, mise en correspondance d'expressions symboliques...). Cette idée conduit à développer les jeux d'articulations entre registres et à concevoir ainsi des tâches pour les élèves notablement différentes de ce qui se pratique habituellement dans l'enseignement de la physique (voir encart 2)

Encart 2

Un exemple de tâche favorisant l'articulation entre actions et événements et représentation en terme de variation de grandeurs physiques: modifier un montage

(Source: Lemeignan, G., Weil-Barais, A. (1988). Étude de quelques activités de modélisation. In G. Vergnaud, G. Brousseau, M. Hulin (Eds): *Didactique et acquisition de connaissances scientifiques* (pp. 229-244), Actes du colloque de Sèvres, mai 1987. Grenoble: La pensée sauvage).

Après que les élèves soient parvenus à réaliser un montage du type: allumer une lampe en se servant d'un accumulateur, on leur demande de modifier le montage pour faire en sorte que la lampe brille plus intensément ou brille plus longtemps. Lorsque les élèves y sont parvenus, on leur demande de déterminer les grandeurs physiques sur lesquelles ils sont intervenus pour faire varier les effets produits. Cette tâche est proposée pour plusieurs montages dont la finalité est l'allumage d'une lampe ou la mise en mouvement d'un véhicule au moyen de divers objets.

Ce type de tâche présentée dans une séquence d'enseignement concernant l'énergie amène les élèves à mettre en relation leurs actions sur les objets avec des variations de grandeurs physiques.

Proposer des guidages

Une fois définie la succession des modèles précurseurs et des tâches qui légitiment leur construction et ensuite leur abandon pour entreprendre la construction d'un autre modèle, il reste à définir les interventions du professeur. Nous avons conçu et expérimenté des interventions de

type guidage. Il s'agit d'interventions où le professeur prend en charge une partie de la planification et du contrôle de l'activité de l'élève. Ces interventions ont pour fonction d'une part d'orienter l'activité de l'élève et d'autre part de l'aider au plan cognitif (voir encart 3). Ces guidages sont peu à peu abandonnés afin que l'élève prenne en charge lui même la planification et le contrôle de son activité. Le rôle du professeur consiste le cas échéant à lui fournir des indices qui lui permettent de retrouver les traitements qu'il a à effectuer.

Encart 3

Un exemple de guidage: établir des relations fonctionnelles entre grandeurs

(Source: Weil-Barais, A., Lemeignan, G.(1990). Apprentissage de concepts et modélisation. *European Journal of Psychology of Education, 5*, 391-415).

Les relations entre les grandeurs décrivant les états et les variations d'états entre systèmes sont généralement données aux élèves dans l'enseignement sous forme de «formules». En fait, dans de nombreux cas, les élèves sont à même d'établir par eux-mêmes ces formules, si le professeur oriente leur démarche. Nous avons pu montrer que la principale difficulté rencontrée par les élèves tenait au fait que lorsqu'ils disposaient de mesures, ils traitaient celles-ci de manière inappropriée. Ils font des comparaisons de mesures prises deux à deux, alors qu'il est nécessaire d'effectuer des comparaisons de relations entre séries de mesures afférentes à une même grandeur. L'aide que nous avons expérimentée auprès d'élèves et qui s'est avérée extrêmement efficace consiste à interroger d'abord les élèves sur les sens de variation des grandeurs. Par exemple, dans des situations de choc mettant en jeu deux wagons, on demande aux élèves de prédire la variation de la vitesse des mobiles, si on augmente leur masse, si on augmente la vitesse de l'un avant le choc, les autres grandeurs étant inchangées, etc.; dans un second temps on leur demande de réaliser les expériences et d'établir des tableaux de covariation et de contrevariation. Dans un troisième temps, on leur demande de faire des hypothèses sur la nature des relations qui relient les grandeurs deux à deux. Ce n'est que lorsque des hypothèses sont formulées à la fois verbalement (par exemple, la vitesse de l'ensemble est proportionnelle à la vitesse du wagon lancé) et sous une forme mathématique (par exemple, $v' = k\, v_1$) que les élèves sont invités à effectuer des mesures expérimentales, pour mettre à l'épreuve leurs hypothèses.

Dans cet exemple, la succession des guidages consiste à orienter le traitement qui est fait dans deux directions: mise en relation de variations de mesures (étude des covariations et des contrevariations) et planification du recueil des informations (une grandeur variable, les autres étant maintenues constantes).

Les guidages qui ont été conçus reposent sur des études préalables des ressources cognitives disponibles chez les élèves. Ces études sont conduites en dehors du contexte scolaire, auprès d'élèves volontaires. Nous proposons à ces élèves de résoudre, soit individuellement soit en petits groupes les tâches que nous avons conçues. On analyse les procédures qu'ils mettent en oeuvre spontanément, les systèmes symboliques auxquels ils font appel ainsi que les réactions

aux aides qu'on leur propose. Il s'agit, de la sorte, de trouver des guidages recevables par les élèves (voir encart 4).

Encart 4

Un exemple de procédures disponibles dans la recherche de relations fonctionnelles entre grandeurs

(Source: Lemeignan, G., Weil-Barais, A. (1988). Étude de quelques activités de modélisation. In G. Vergnaud, G. Brousseau, M. Hulin (Eds): *Didactique et acquisition de connaissances scientifiques* (pp. 229-244), Actes du colloque de Sèvres, mai 1987. Grenoble: La pensée sauvage).

Dans l'étude d'une situation de choc, du type «accrochage» (un wagon lancé rencontre sur un rail rectiligne horizontal un wagon immobile; ils s'accrochent et roulent alors ensemble), les élèves sont parvenus à valider une des hypothèses avancées lors de l'étude des sens de variation, à savoir que la vitesse de l'ensemble est proportionnelle à la vitesse du wagon lancé, ce qu'ils écrivent $v' = kv_1$.(ils parviennent à cela au bout d'un cheminement assez long accompagné de guidages fournis par le professeur ainsi qu'il a été indiqué précédemment). Assez spontanément, lorsqu'ils sont en situation de manipuler le matériel et de procéder à de nombreux essais, ils estiment que k doit être un rapport de masses (des masses qu'ils ont aussi manipulées physiquement: il s'agissait de morceaux de plomb dans un rapport de masse de 1 à 5). Pour estimer ce rapport, ils ont examiné des cas particuliers: qu'en est-il de la vitesse des deux wagons lorsque la masse des deux wagons est identique? Qu'en est-il, lorsque la masse du second est très grande face à la masse du premier ? ou l'inverse. Ces procédures disponibles chez les élèves (étude des cas particuliers et des valeurs limites) ont permis que leur soit présentée une méthode générale de recherche du coefficient qui leur rappelait ce qu'ils avaient vu en mathématiques de manière totalement formelle, méthode que certains élèves ont ultérieurement utilisée pour trouver une relation entre grandeurs dans deux autres situations de choc.

L'approche développementale de l'accès aux modèles que nous avons conçue repose ainsi sur trois idées fortes: 1) une suite de modèles, dont chacun peut être considéré comme le précurseur du suivant au sens où il constitue une étape vers sa construction, même s'il est en rupture avec lui; 2) l'articulation des registres expérimental, cognitif et symbolique (langage naturel, graphismes, symbolismes mathématiques); 3) la mise en oeuvre de guidages de la part de l'enseignant. La focalisation sur ces trois aspects ne veut pas dire que les autres déterminants des conditions d'apprentissage ne sont pas à prendre en compte, comme par exemple, l'importance des échanges entre élèves ou le rôle joué par la prise de conscience et l'explicitation. Il s'agit là de déterminants du fonctionnement cognitif qui ne sont pas spécifiques à une approche développementale. Nous avons essentiellement voulu pointer les conséquences qu'ont sur la

conception de l'enseignement de la physique des options développementales en matière d'apprentissage. Celles-ci aboutissent à des modifications assez profondes de l'enseignement. Il ne s'agit pas seulement d'une modification de style pédagogique, mais de modifications qui portent sur la manière d'introduire les modèles, sur les tâches proposées aux élèves et sur le rôle qu'occupe l'enseignant auprès des élèves. Celui-ci ne transmet plus; il aide l'élève à construire, à utiliser des modèles ainsi qu'à en cerner les limites, en s'appuyant sur ce que l'élève sait faire. Sa fonction médiatrice est totalement différente de ce qu'elle est dans un enseignement expositif basé sur un modèle de type transmission des informations. Les procédures expertes sont parfois exposées, mais seulement lorsque le professeur a de bonnes raisons de penser qu'elles sont recevables par les élèves. Ainsi le savoir expert n'est plus la seule référence pour le professeur. La connaissance des compétences cognitives des élèves et de leur potentialité évolutive lui est indispensable.

L'importance de l'épistémologie

Ces trois idées fortes qui caractérisent l'approche développementale de l'apprentissage que nous avons conçue ne suffisent pas à définir des choix didactiques. C'est en ce sens que ces idées ne débouchent pas sur une méthode générale d'enseignement. En effet, les modèles savants auxquels on souhaite faire accéder les élèves imposent des contraintes d'un autre ordre que les contraintes psychologiques que nous avons évoquées. Les caractéristiques des modèles peuvent être telles qu'elles impliquent certains processus d'apprentissage et en excluent d'autres. Par exemple, le modèle «quantité de mouvement» peut être construit en faisant largement appel à l'induction de relations (ceci tient au fait que la quantité de mouvement est une grandeur «uniforme» au sens où elle est toujours définie par un produit de la masse.par la vitesse). Par contre, le modèle Force nécessite l'élaboration d'une axiomatique dont la pertinence peut être évaluée progressivement, en examinant si en la faisant fonctionner elle débouche sur des prédictions satisfaisantes ou non. Pour les élèves, il s'agit donc, dans le premier cas, de s'approprier une démarche inductive, alors que, dans le second cas, il s'agit pour eux d'accepter un ensemble d'axiomes et de les faire fonctionner ensemble pour aboutir à des prédictions. Au plan cognitif ces deux démarches sont très différentes et nous avons pu observer que la première démarche est plus accessible aux élèves (classes de lycée, 15 à 17 ans) que la seconde.

La prise en compte des caractéristiques des modèles physiques impose ainsi des limites et des contraintes à l'approche développementale. C'est pourquoi les trois études que nous avons conduites, respectivement sur chacune des grandeurs fondamentales de la mécanique (force, quantité de mouvement, énergie) débouchent sur des progressions de modèles et de tâches très différentes.

Dans le cas de la force la construction du premier modèle dans laquelle les élèves sont engagés a pour fonction de leur montrer comment on construit une suite d'axiomes portant sur des règles familières pour eux et de leur faire éprouver la fonctionnalité d'une telle démarche (voir encart 5).

Encart 5

L'instauration de règles dans une séquence d'enseignement conçue pour aider les élèves à s'approprier le modèle force

(Source: Lemeignan, G., Weil-Barais, A. (en préparation). L'apprentissage de la modélisation dans l'enseignement de la force. *Rapport de recherche*.

Dans une séquence d'enseignement réalisée à titre expérimental avec un groupe de sept élèves volontaires, on les a tout d'abord interrogés sur une situation qui, pour eux, ne pose pas problème. Deux élèves (A et B) tirent sur une ficelle, chacun à une extrémité. Les questions posées sont les suivantes: Comment faire pour que le noeud au milieu de la ficelle (ceci sert de repère) reste immobile ? Comment faire pour qu'il se déplace vers A ? Comment faire pour qu'il se déplace vers B ? Tous les élèves énoncent que pour que le noeud reste immobile, il faut que A tire sur la ficelle autant que B, dans la même direction, mais dans des sens opposés (c'est le professeur qui insiste pour que soient spécifiés la direction et le sens). Ceci débouche sur l'énoncé de règles:

- si un objet x est immobile alors deux objets agissent sur lui autant, dans la même direction, mais dans des sens opposés;
- si l'objet x se déplace dans le sens de A , c'est que l'objet A agit sur x plus que l'objet B agit sur lui.

Ils ont étudié ensuite des ressorts et ont pu facilement établir qu'à ressort constant la longueur de celui-ci covariait avec l'importance des actions exercées sur lui: plus on tire dessus, plus il s'allonge.

Ces règles étant énoncées, on demande aux élèves de les utiliser pour comparer l'allongement du ressort dans trois situations:

a) à chaque extrémité du ressort est accroché un objet (les deux objets - des masses marquées- sont de masse identique);

Encart 5 (suite)

b) à une extrémité du ressort est accroché un objet identique aux précédents, à l'autre extrémité, c'est la main du professeur qui tient le ressort;

c) la main est remplacée par un gros morceau de plomb posé sur la table.

(un système de pieds et de poulies assure l'équilibre de l'ensemble).

Le ressort est caché par une feuille de papier. Les élèves sont informés que l'ensemble est immobile et on leur demande de comparer l'allongement des ressorts: a comparé à b, a comparé à c et b comparé à c.

L'application des règles précédemment établies conduit au raisonnement suivant : puisque le ressort est immobile, les deux objets agissent autant l'un que l'autre sur le ressort; comme un des objets est invariant dans les trois situations, l'autre objet, qu'il soit une main ou un morceau de plomb doit forcément agir autant que lui. En conséquence, l'allongement du ressort reste toujours le même dans les trois situations.

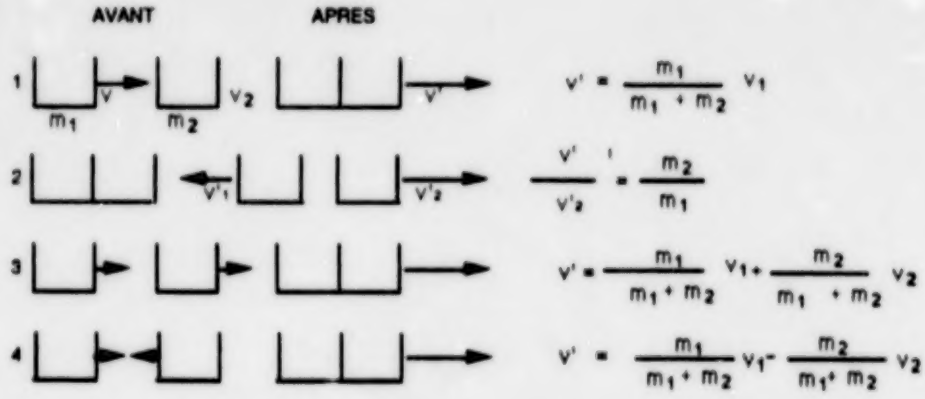
La plupart des élèves ne font pas cette prédiction, car ils ont du mal à penser que des objets de différente nature (une masse marquée, une main, un morceau de plomb) puissent agir de la même manière sur un ressort. C'est le concept d'objet qui est en cause. Les règles énoncées précédemment ne peuvent donc pas s'appliquer pour eux

De visu et en effectuant la mesure de la longueur du ressort, les élèves constatent que leurs prédictions sont incorrectes. Invités à nouveau à utiliser les règles énoncées antérieurement, ils peuvent éprouver leur fonctionnalité. Ceci ne suffit pas à ce qu'ils y aient recours par la suite. Nous avons pu observer certains élèves qui à la fin de la séquence d'apprentissage ayant duré douze semaines, à raison d'une demi-journée par semaine, utilisaient plutôt leurs intuitions du monde physique que les règles énoncées dont ils avaient pourtant à maintes occasions éprouvé la pertinence (ceci dans un contexte de travail de groupes, où chaque élève avait l'occasion de s'exprimer, et où les chercheurs tentaient d'élucider les difficultés de chacun).

Dans le cas de la quantité de mouvement le premier modèle «masse.vitesse» a pour finalité de montrer qu'il est possible de décrire un ensemble varié de situations (au sens où elles sont conceptualisées initialement de manière différente par les élèves) par un même ensemble de grandeurs et d'amener les élèves à considérer un regroupement invariant de grandeur (m.V) (voir encart 6).

Encart 6

Les quatre situations initialement proposées aux élèves



Ces situations relèvent initialement pour eux d'explications différentes. En utilisant des guidages appropriés les élèves parviennent à établir les relations entre les masses et les vitesses.

La transformation de ces relations guidée par un questionnement aboutit à établir d'abord deux relations (en considérant le caractère algébrique de la vitesse) - l'une pour les situations d'accrochage, l'autre pour les situations d'éclatement, puis une seule relation.

A: Accrochage

$$v' = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1 + \frac{m_2}{m_1 + m_2} v_2$$

B: Éclatement

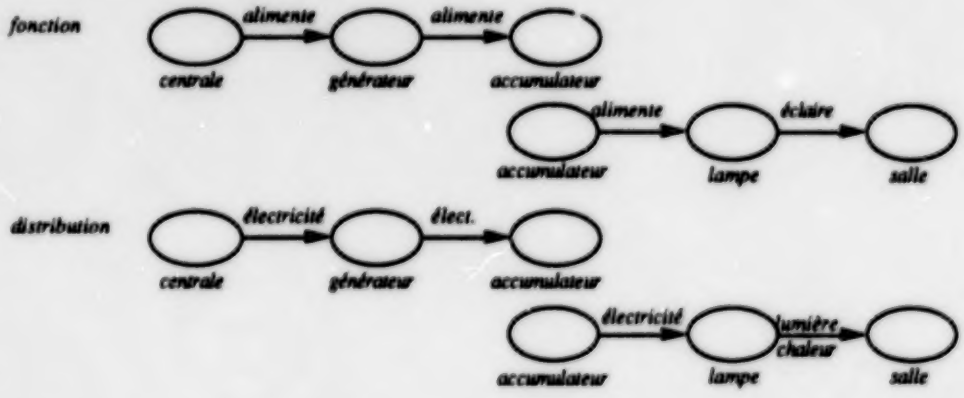
$$\frac{v'_1}{v'_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

Dans le cas de l'énergie, le premier modèle (fonction) a pour finalité de conduire les élèves à se représenter les différents montages expérimentaux proposés sous la forme d'une chaîne orientée d'objets, chaque objet exerçant une fonction par rapport au suivant (voir encart 7). Cette représentation préfigure ce qui sera plus tard la chaîne énergétique. Le second modèle (distribution) à propos duquel les élèves sont amenés à s'interroger sur le contenu des objets, sur ce qu'ils donnent et ce qu'ils reçoivent a pour finalité de conduire à une catégorisation des objets, en réservoir, transmetteur, transformateur et «poubelle» (voir encart 7).

Encart 7

Représentations «fonction» et «distribution» d'une situation expérimentale

1. Accumulateur + Lampe



Ces quelques exemples puisés dans les différents travaux que nous avons conduits en mécanique illustrent la diversité des solutions auxquelles nous sommes parvenus en tentant de respecter, d'une part, les idées fortes qui président à une conception développementale de l'apprentissage et, d'autre part, les caractéristiques des concepts de la mécanique.

Bilan et Perspectives

Bien entendu, comme chaque fois qu'on procède à des innovations pédagogiques, les résultats sont positifs: les enseignants et les élèves sont intéressés et les résultats aux tests d'évaluation sont encourageants. Ceci réconforte sans doute les chercheurs et les institutions qui financent de telles recherches. Mais ce type de résultats n'est intéressant que si l'on estime avoir ainsi mis au point une technique d'enseignement qui marche, transférable à d'autres contextes que ceux de l'expérimentation. Notre point de vue est tout autre: il s'agit pour nous de produire des connaissances sur les processus d'apprentissage et d'enseignement susceptibles d'aider les enseignants à améliorer leur système de décision quant aux pratiques qu'ils peuvent développer en classe. C'est dans une telle perspective qu'il nous semble intéressant de pointer et de décrire la diversité des démarches intellectuelles à l'oeuvre dans l'élaboration et l'utilisation des modèles

scientifiques. Nous avons montré que cette diversité est liée à des différences dans la nature des concepts constitutifs des modèles. Elle implique des interventions et des démarches pédagogiques, elles-mêmes diverses, auxquelles les enseignants sont plus ou moins préparés. Ainsi les enseignants ayant participé à la recherche ont pu sans difficulté majeure gérer les démarches inductives de construction des modèles (dans le cas de la quantité de mouvement), étant donné les guidages et les outils didactiques que nous avons conçus (en particulier un logiciel de simulation des chocs qui calcule les vitesses des mobiles; Lemeignan, Weil-Barais, 1987); par contre ils ont eu des difficultés à assumer la rupture entre une démarche inductive et une démarche hypothétique (le moment où la conservation de P est instaurée comme un principe; l'instauration de la grandeur 'énergie' comme une hypothèse). Par ailleurs, ils acceptent mal de passer du temps à la construction de modèles précurseurs qu'ils ressentent comme ne faisant pas partie du programme, d'autant plus que ces modèles ne permettent pas de faire des calculs, au sens habituel du terme. La nécessité de faire travailler les élèves sur les relations d'ordre n'est pas vraiment acceptée par les enseignants, alors que, ainsi que nous avons pu l'établir, ce travail est indispensable pour que les élèves parviennent par eux-mêmes à trouver les relations fonctionnelles entre grandeurs et leur donnent du sens.

Les réticences des enseignants se retrouvent bien entendu auprès de leurs élèves. Ceux-ci ont bien accepté la démarche de construction de la grandeur 'quantité de mouvement', alors qu'ils ont été gênés par l'approche proposée de l'énergie. S'agissant de niveaux scolaires différents (1ère classe du lycée pour $\vec{P}$, 2ème classe du lycée, option scientifique pour E) nous pouvons penser que les élèves ont intégré, entre temps, une certaine représentation des connaissances physiques qui valorise dans l'enseignement français les présentations inductives et le calcul formulaire. Cette interprétation doit être modulée par les résultats obtenus à propos de la grandeur 'force', auprès d'élèves qui ont participé à la recherche juste avant leur entrée au lycée. Ces résultats montrent que ceux-ci sont plus ou moins prêts à s'engager dans les différents types de démarches. Certains élèves acceptent volontiers de prendre en compte des hypothèses, d'autres les refusent franchement. Il leur faut des «preuves», soit de type «démonstration mathématique», soit des constats expérimentaux. Certains élèves restent si accrochés aux données perceptives qu'ils réfutent a priori des hypothèses qui ne les prennent pas en compte. Ainsi un gros morceau de plomb, posé sur une table, est considéré comme ne pouvant pas agir autant sur un ressort qu'une masse marquée de 100 g, car le plomb «est lourd; il est gros; il retient forcément plus». Ce refus des hypothèses qui fondent le modèle enseigné se traduit ultérieurement par des erreurs de calcul «habiles» sur les vecteurs qui permettent à l'élève de rester cohérent avec son propre système d'hypothèses. Ce type de résultats conduit à questionner l'origine des erreurs des élèves

système d'hypothèses. Ce type de résultats conduit à questionner l'origine des erreurs des élèves (supposées habituellement relever de difficultés d'ordre mathématique) et à être attentif aux démarches et opérations de pensée qui fondent l'élaboration des connaissances physiques et leur utilisation.

L'ensemble des résultats obtenus confirment la lenteur des évolutions conceptuelles. Dans le cas où nous avons pu opérer des suivis individuels (douze séances de 2h30 chacune avec sept élèves, dans l'étude concernant la grandeur Force), il apparaît que les progressions ne sont pas continues. Tout se passe comme si les élèves réévaluaient constamment la pertinence des constructions conceptuelles antérieures, tant qu'elles ne sont pas assurées. En cas de difficultés, ils ont tendance à contrôler les solutions qu'ils proposent à partir de leur intuition du monde (exprimée sous la forme «je crois que ça doit se passer comme çà») plutôt qu'à partir de concepts nouvellement acquis, qu'ils ne sont pas assurés de maîtriser. L'utilisation de connaissances mal assurées impliquerait que les élèves aient droit à l'erreur, ce qui n'est pas le cas dans le système scolaire français. Nous avons pu constater que, même dans un contexte expérimental, non scolaire, les élèves avaient des réticences à emprunter des démarches ou des hypothèses nouvelles par crainte de commettre des erreurs. On comprend dès lors que les élèves préfèrent généralement s'appuyer sur des connaissance anciennes, bien intériorisées et automatisées, dans lesquelles ils ont nécessairement plus de confiance, plutôt que sur des concepts qu'ils ne maîtrisent pas entièrement, ce dont ils ont parfaitement conscience. C'est donc la relation au savoir qui est ici en cause, laquelle constitue un frein au changement conceptuel.

En ce qui concerne les différents facteurs d'évolution (nous n'avons pas cherché à les isoler dans nos recherches, partant du point de vue selon lequel les sources d'évolution sont multiples), il apparaît, au vu de nos résultats, que l'importance de ceux-ci mériterait d'être réévaluée soigneusement. Ainsi en est-il du conflit, qu'il s'agisse du conflit qui serait provoqué par la contradiction entre des résultats attendus et des résultats obtenus ou du conflit qui résulterait des désaccords entre élèves. Les élèves renoncent difficilement à leurs idées même si elles ne sont pas confortées par l'expérience. Ils suspectent parfois un «truc» caché qui expliquerait les faits qu'ils jugent aberrants car en contradiction avec ce qu'ils pensent. D'un autre côté, ils acceptent volontiers le débat; mais ceci les conforte souvent dans l'idée que les représentations sont affaire d'opinion; ceci conduit certains élèves à mal accepter par la suite qu'*in fine* ne soit retenue qu'une seule manière de se représenter les situations. L'intérêt de susciter des débats résulte, selon nous, de la possibilité, par cette voie, de faire prendre conscience aux élèves que, au plan individuel, il est possible d'avoir des représentations différentes de celles des autres, ce dont ils n'ont pas

nécessairement conscience. Les élèves que nous avons observés se sont, en effet, souvent exprimés, comme si ce qu'ils disaient répondait à une logique interne, la même pour tout le monde. Le fait de constater qu'il n'en est rien, les a conduits à s'interroger sur leur système de croyance. Mais sans proposition de notre part, sans inscription du processus d'élaboration des modèles scientifiques dans un jeu social dont les règles sont bien contrôlées (règles de cohérence, d'économie, confrontation des prédictions aux données de l'expérience....), les élèves sont dans l'incapacité d'accéder aux concepts et aux modèles physiques. A posteriori, il est apparu que ce sont les situations et les questions qui semblent jouer le rôle le plus décisif quant au progrès des élèves. Certains échecs, enregistrés sur ce point, attirent l'attention sur l'importance de l'articulation entre les tâches à conduire (faire un montage, prédire un événement, faire un calcul...) et l'élaboration de représentations. Le fait, par exemple, d'avoir demandé aux élèves de produire une représentation (représentation distribution dans le cas de l'énergie), avant que cette demande soit finalisée par une tâche à accomplir (représenter pour représenter) a mis en difficulté les trois-quarts des élèves que nous avons observés (Lemeignan, Weil-Barais, 1990). Or de telles pratiques sont fréquentes au lycée; on croit en effet que, pour résoudre des problèmes, il faut savoir représenter; donc l'exposé du modèle (présenté à l'occasion d'un cours) précède la résolution de problèmes. Nous avons pu constater qu'une telle stratégie provoque du désintérêt chez la majorité des élèves et les conduit à l'échec.

L'ensemble des résultats obtenus interroge sur la pertinence de l'ensemble du cadre conceptuel que nous nous sommes donné pour progresser dans la connaissance des processus de changements conceptuels et des conditions qui les favorisent. Le recours à une double référence - épistémologique et psychologique- nous a conduit à produire des analyses détaillées des activités intellectuelles en jeu dans la construction et l'utilisation des modèles et à faire des propositions de modèles 'précursifs' fondés épistémologiquement et psychologiquement. Le point de vue développemental adopté présente l'intérêt de conduire à prendre en compte la lenteur des évolutions conceptuelles et à aménager les transitions et les ruptures entre représentations «spontanées» et représentations «savantes» (les modèles scientifiques). Le point de vue constructiviste conduit à prendre en compte l'importance des situations-problèmes et des guidages ainsi que l'articulation entre les représentations et les tâches à accomplir. En tentant ainsi d'articuler les tâches et les activités représentatives, nous sommes parvenus à faire des propositions de modèles pour l'enseignement cohérents, fonctionnels et relativement autonomes, au sens où ils peuvent se justifier autrement que comme «préparant» à des modèles plus élaborés, même si fondamentalement, dans le cadre de notre programme de recherche, nous leur avons assigné cette fonction.

Nous avons expérimenté nos propositions d'enseignement auprès d'élèves de lycée ou près d'y accéder, mais en fait rien n'empêcherait que ces modèles précurseurs de modèles savants puissent être introduits à des niveaux scolaires antérieurs. Ceux-ci présentent certaines des caractéristiques essentielles des modèles savants, sans en avoir la puissance, puisque, sans grandeurs physiques, ils ne permettent pas de procéder à des calculs au sens classique du terme. Ils ont une valeur explicative - en tant qu'ils constituent une représentation unifiante de situations diverses - et une valeur prédictive, en tant qu'ils permettent d'effectuer des prédictions sur l'occurrence d'effets ou sur des sens de variation d'effets. En considérant la possibilité d'introduire dans l'enseignement de tels modèles, peut-être serait-il possible de penser autrement la programmation scolaire. Celle-ci est dirigée actuellement essentiellement par les contenus (le programme scolaire français se traduisant par des ensembles de notions). Celle-ci pourrait être, utilement pour les élèves, dirigée par le type de représentation possible, à l'intérieur d'un domaine conceptuel, ceci dans une perspective développementale. Il doit être clair dans notre propos qu'il n'est pas fait référence ici à une conception générale du développement par niveau ou par stade dont l'inadéquation dans le domaine de l'éducation scientifique n'est plus à démontrer, mais à une conception du développement cognitif intra-domaine, même s'il n'est pas exclu qu'il puisse y avoir des transferts inter-domaines, ce qui reste à établir.

Le cadre théorique que nous avons développé semble ainsi assez bien assurer les fonctions que nous lui avions assignées: produire des connaissances sur les processus et les conditions d'apprentissage et élaborer des environnements d'apprentissage favorables. Il ne permet pas, par contre, de penser les changements de pratiques des enseignants. Les pratiques impositives que nous avons eues à leur endroit dans le cadre de nos recherches s'étant avérées peu productives, il y aurait sans doute lieu de concevoir également des approches développementales de la formation des enseignants.

BIBLIOGRAPHIE

Amigues, R. (1990). Peer interaction and conceptual change. In H. Mandl, E. De Corte, N. Bennett, H.F. Friedrich (Eds.): *Learning and instruction, European Research in an International Context, 2 (1), Social and cognitive aspects of learning and instruction* (pp. 24-43). Oxford: Pergamon Press

Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Champagne, A.B., Gunstone R.F., Klopfer L.E. (1985). Effecting changes in cognitive structures among physics students. In L.H.T. West, A.L. Pines (Eds):, *Cognitive structure and conceptual changes* (pp. 163-187). New York: Academic Press.

Di Sessa, A. (1987). *Toward an epistemology of physics*, Berkeley Cognitive Science Report Series, University of California, Berkeley.

Di Sessa, A. (1988). Knowledge in pieces. In G. Forman, P. Pufall (Eds.), *Constructivism in the computer age*, Hillsdale, N.J: Lawrence Erlbaum

Di Sessa, A.A. (1983). «Phenomenology» and the evolution of intuition. In D. Gentner, A.L. Stevens (Eds.): *Mental models*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Driver, R. (1987). Promoting conceptual change in classroom settings: The experience of the children's learning in Science Project. *Proceedings of the Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, Vol II* (pp. 90-107). Cornell University, Ithaca.

Garrison, J.W., Bentley, M.L (1989). Science education, conceptual change and breaking with everyday experience, *Studies in Philosophy and Education, 10*,19-35.

Grimellini Tomasini, N., Gandolfi, E., Peceri Balandi, B. (1990). Teaching strategies and conceptual change: sinking and floating at elementary school level. *Paper presented at the 1990 Annual Meeting of the American Educational Research Association*, Boston, Massachussets, April 16-20. Bologna: University, Physics Department.

Hewson, P.W. (1981). A conceptual change approach to learning science, *European Journal of Science Education, 3*, 383-396.

Hewson, W.H., Hewson, M.G.A. (1984). The role of conceptual confliction in conceptual change and the design of science instruction. *Instructional Science, 13*, 1-13.

Howe, C.J., Rogers, C., Tolmie, A. (1990). Physics in the primary school: peer interaction and the understanding of floating and sinking. *European Journal of Psychology of Education, 5*, 459-475.

Kuhn, T. (1970). *The structure of scientific revolution*. Chicago, University Press.

Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. *In* I. Lakatos, A. Musgrave (Eds), *Criticism and the growth of Knowledge*. Cambridge University Press.

Legrand, F. (1989). Analyse du concept d'énergie à partir de l'étude d'un manuel de 1ère scientifique. *Mémoire de tutorat*. Paris: LIREST, Université Paris 7.

Lemeignan, G., Weil-Barais, A. (1987). Apprentissage de la modélisation à propos de l'enseignement de la mécanique au lycée. *In* J.L. Martinand (sous la direction de): *Enseignement et apprentissage de la modélisation: quantité de mouvement et modèle particulaire* (pp-77-155). Rapport de fin de contrat MIR-MEN: Action Concertée «Recherche en éducation et en formation». Document ronéoté, LIREST.

Lemeignan, G., Weil-Barais, A. (1987). Construction inductive d'un modèle en mécanique et résolution de problèmes. *In* J. Colomb, J.F. Richard (Eds): *Résolution de problèmes en mathématiques et en physique* (pp.145-198). Paris: I.N.R.P., Collection Rapport de Recherches, 12.

Lemeignan, G., Weil-Barais, A. (1990). L'apprentissage de la modélisation dans l'enseignement de l'énergie. In J. Colomb, J.L. Martinand: *Enseignement et apprentissage de la modélisation*. Rapport de fin de contrat LIREST-INRP. Document LIREST. Paris: Université Paris 7.

Lemeignan, G., Weil-Barais, A. (en préparation). L'apprentissage de la modélisation dans l'enseignement de la force. *Rapport de recherche*.

Nussbaum, J., Novick, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict, and accomodation: towards a principle teaching strategy. *Instructional Science, 11*, 183-200.

Osborne, R.J., Wittrock, M.C. (1983). Learning science: a generative process. *Science Education, 64*,176-186.

Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson P.W.,Gertzog, W.A. (1982). Accomodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change, *Science Education, 66*, 211-227.

Reif, F. (1985). Acquiring an effective undestanding of scientific concepts. In L.H.T. West, A.L. Pines (Eds), *Cognitive structure and conceptual changes* (pp. 133-151), New York: Academic Press.

Reif, F. (1987). Instructional design, cognition and technology: applications to the teaching of science concepts. *Journal of Research in Science Teaching, 24(4)*, 304-324.

Saint-Georges, M. (1990). Présentation du concept de force dans un manuel scolaire de la classe de seconde. *Mémoire de Tutorat*. Paris: LIREST, Université Paris 7.

Shuell, T.J. (1987). Cognitive psychology and conceptual change: Implications for teaching science. *Science Education, 5*, 239-250.

Stavy, R., Berkovitz, B. (1980). Cognitive conflict as a basis for teaching quantitative aspects of the concept of temperature. *Science Education, 64*, 679-672.

Strike, K.A., Posner G.J. (1985). A conceptual change view of learning and understanding. In L. West, L. Pines (Eds): *Cognitive structure and conceptual changes* (pp. 211-231). New York: Academic Press.

Strike, K.A., Posner, G.J. (1982). Conceptual change and science teaching. *European Journal of Science Education, 4*, 231-240.

Vergnaud, G. (1987). Les fonctions de l'action et de la symbolisation dans la formation des connaissances chez l'enfant. In J. Piaget, P. Mounoud, J.P. Bronckart (Eds), *Psychologie, Encyclopédie la Pléiade*, XLVI(pp. 821-844). Paris: Gallimard.

Viennot, L. (1979). Spontaneous reasonning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education, 1*, 205-221.

Weil-Barais, A., Lemeignan, G., Séré, M.G. (1990). Acquisition de connaissances scientifiques et développement. In G. Netchine-Grynberg (Ed): *Développement et fonctionnement cognitifs chez l'enfant* (pp. 247-259). Paris: P.U.F.

Weil-Barais, A., Vergnaud, G. (1990). Students' conceptions in physics and mathematics: biaises and helps. In J.P. Caverni, J.M. Fabre, M. Gonzalez (Eds.): *Cognitive biases* (pp.69-84). North Holland: Elsevier Science Publishers.

Des exemplaires du présent document sont en vente à l'adresse suivante:

Centre Interdisciplinaire de Recherche sur
l'Apprentissage et le Développement en Education
Université du Québec à Montréal
C.P. 8888, Succ. A,
Montréal, Québec
H3C 3P8

Publié par le Centre Interdisciplinaire de Recherche
sur l'Apprentissage et le Développement en Education
Université du Québec à Montréal
Conception graphique: Pierrette Prévert